

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА  
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)  
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)  
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

Электронный сборник статей  
международной научной конференции,  
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией  
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;  
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2018

*Редакционная коллегия:*

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ** [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

УДК 697.9

# НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ СНИЖЕНИЯ МЕТАЛЛО- И ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ С НЕРАВНОМЕРНЫМ УТЕПЛЕНИЕМ НАРУЖНЫХ СТЕН ПРИ ВОЗДУШНОМ ОТОПЛЕНИИ

*В.И. Липко, С.В. Ланкович*

Полоцкий государственный университет, Беларусь

email: kafedratgsv@mail.ru, s.lankovich@psu.by

*На основе действующей нормативной базы показано построение методики расчёта систем воздушного отопления зданий повышенной теплозащиты и герметичности наружных ограждающих конструкций с выполнением теплотехнического расчёта.*

*Ключевые слова: воздушное отопление, теплопотери, теплопоступления, воздухообмен, наружное ограждение, сопротивление теплопередаче.*

## RESEARCH AND METHODOLOGICAL INNOVATIVE DESIGN REDUCING METAL AND ENERGY CONSUMPTION OF ENGINEERING SYSTEMS OF HEAT CONSUMPTION OF BUILDINGS WITH AN IRREGULAR WARMING OF EXTERNAL WALLS WITH AIR HEATING

*V. Lipko, S. Lankovich,*

Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

email: kafedratgsv@mail.ru, s.lankovich@psu.by

*Based on the functional of the statutory framework shows the development of methodology for calculation of air heating systems of buildings with advanced thermal protection and tightness of enclosing structures with the thermotechnical calculation.*

*Keywords: air heating, heat losses, heat input, air change, outer shell, heat-transfer resistance.*

Научные разработки в области эффективного домостроения позволяют осуществить безболезненный переход к более энергоэкономичным системам воздушного отопления зданий, совмещенного с активной вентиляцией, что продуктивно в условиях постоянного увеличения в градостроительной практике использования абсолютно непроницаемых для воздуха материалов, таких как бетон, стекло, металл, пластмассы, клеи, герметики, мастики, гидро- и пароизоляционные материалы, исключающие возможность использования технологии естественной вентиляции, основанной на инфильтрации наружного воздуха через неплотности наружных ограждающих конструкций.

Широко применяемые в настоящее время в домостроении водяные системы отопления должны компенсировать не только теплопотери зданий через наружные ограждения, но ещё в большей степени нагревать воздух, поступающий неорганизованным путём в отапливаемые помещения за счёт инфильтрации, что значительно увеличивает металлоёмкость и энергопотребление в процессе строительства и эксплуатации зданий в условиях длительного, свыше 200 суток отопительного периода для Республики Беларусь, при том, что и металл, и энергоресурсы импортного происхождения влияют на стоимость единицы национального валового продукта.

В соответствии с действующей нормативной базой [1, 2, 3] для систем водяного отопления суммарные теплопотери здания  $Q$ , Вт определяются по формуле

$$Q_{\Sigma} = Q_m + Q_i - Q_o, \quad (1)$$

где  $Q_m$  – трансмиссионные основные и добавочные теплопотери наружных ограждающих конструкций здания, Вт;

$Q_i$  – расход теплоты на нагрев наружного воздуха за счёт инфильтрации, Вт;

$Q_{\delta}$  – бытовые теплопоступления жилых помещений и кухонь, Вт;

Трансмиссионные основные и добавочные теплопотери наружных ограждающих конструкций здания определяются по формуле

$$Q_m = Q_{HC} + Q_{OK} + Q_{ПОЛ} + Q_{ПОКР}, \quad (2)$$

где  $Q_{HC} = \frac{F_{HC}}{R_{HC}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n$  – трансмиссионные основные и добавочные теплопотери через наружные стены, Вт;

$Q_{OK} = \frac{F_{OK}}{R_{OK}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n$  – трансмиссионные основные и добавочные теплопотери через окна, Вт;

$Q_{ПОЛ} = \frac{F_{ПОЛ}}{R_{ПОЛ}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n$  – трансмиссионные теплопотери через полы нижнего этажа или перекрытие над подвалом неотапливаемого подвала, Вт;

$Q_{ПОКР} = \frac{F_{ПОКР}}{R_{ПОКР}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n$  – трансмиссионные теплопотери через верхнее покрытие или перекрытие верхнего этажа потолка, Вт;

$F_{HC}, F_{OK}, F_{ПОЛ}, F_{ПОКР}$  – расчётная площадь охлаждаемых поверхностей наружных ограждений: стен, окон, пола нижнего этажа и потолка верхнего этажа, м<sup>2</sup>;

$R_{HC}, R_{OK}, R_{ПОЛ}, R_{ПОКР}$  – термическое сопротивление теплопередаче наружных ограждений: стен, окон, пола нижнего этажа и потолка верхнего этажа, м<sup>2</sup>·°C/Вт;

$t_{\text{в}}, t_{\text{н}}$  – расчётные нормативные внутренняя и наружная температуры воздуха соответственно, °C;

$\beta$  – коэффициент процентного отношения добавочных теплопотерь;

$n$  – коэффициент учёта расположения наружного ограждения.

Расход теплоты на нагрев наружного воздуха за счёт инфильтрации, Вт, определяемый из выражения

$$Q_i = 0,28 \cdot L_{np} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot K, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $L_{np} = 3 \cdot F_n$  – расход наружного воздуха, поступающего в жилые помещения и кухню за счёт инфильтрации, м<sup>3</sup>/ч;

$F_n = F_{\text{ж}} + F_{\text{к}}$  – расчётная площадь пола жилых помещений и кухни, м<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}}$  – плотность наружного воздуха как функция от  $t_{\text{н}}$ , кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – теплоёмкость воздуха, кДж/кг;

$K$  – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока в конструкциях наружных ограждений.

Бытовые теплопоступления согласно изменениям №4 [1] определяются по формуле

$$Q_{\delta} = Q_{\text{н}} \cdot (1 - \eta), \text{ Вт}, \quad (4)$$

где  $Q_h = 9 \text{ Вт/м}^2$  – бытовые тепlopоступления для жилых зданий;  
 $\eta$  – коэффициент, зависящий от способа регулирования системы отопления здания.  
 Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$  теплотехнически ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями [2, табл. 5.9 и 5.10]:

$$R_0 = r \cdot \left( \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (5)$$

где  $r$  – расчетный коэффициент, учитывающий нарушения теплотехнической однородности ограждающей конструкции (коэффициент теплотехнической однородности);

$\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи, принимается, согласно [1, табл. 5.4];

$\delta_i$  – толщина слоя, м;

$\lambda_i$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, многослойной наружной конструкции [2, табл. 4.2];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, ограждающей конструкции для зимних условий,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

Для расчёта толщины утеплителя  $\delta_{ут}$  при равномерном утеплении ограждающих конструкций рассмотрим бесчердачное здание с плоской кровлей и неотапливаемым подвалом, представленным схематично на рисунке 1, планировка квартир представлена на рисунке 2, а конструкции ограждений на рисунках 2–5.

Географический район строительства – г. Минск, ориентация здания показана на схеме.

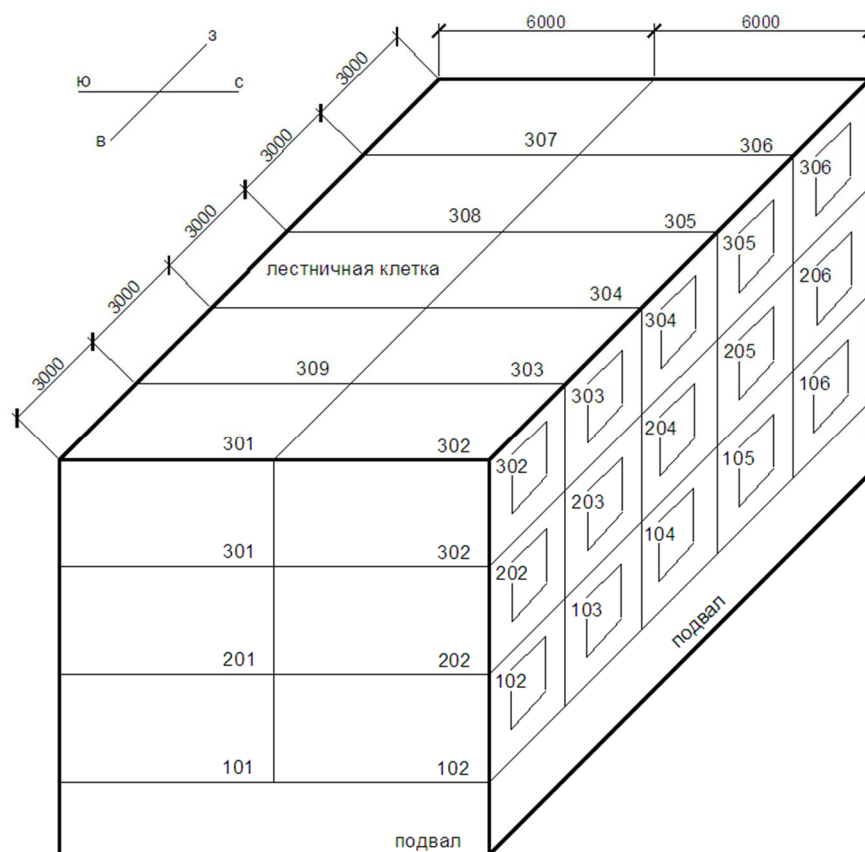


Рисунок 1. – Схема расположения жилых помещений и лестничной клетки в объёме здания

Конструктивно стеновая панель (рис. 2) состоит из 5-ти слоев.

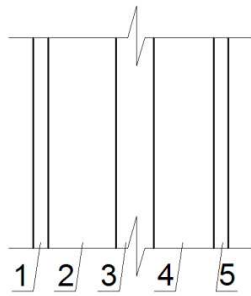


Рисунок 2. – Конструкция наружного ограждения

1 – слой наружной цементно-песчаной штукатурки

$$\delta_1 = 0,02 \text{ м}, \lambda_1 = 0,93 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, s_1 = 11,09 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С};$$

2 – слой железобетона  $\delta_2 = 0,09 \text{ м}, \lambda_2 = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, s_2 = 19,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С};$

3 – слой утеплителя из плит пенополистирольных

$$\delta_3 = 0,2 \text{ м}, \lambda_3 = 0,05 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, s_3 = 0,48 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С};$$

4 – слой железобетона  $\delta_4 = 0,06 \text{ м}, \lambda_4 = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, s_4 = 19,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С};$

5 – слой внутренней известково-песчаной штукатурки

$$\delta_5 = 0,02 \text{ м}, \lambda_5 = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, s_5 = 9,76 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

Запишем формулу (4) в развёрнутом виде для конструкции принятой к рассмотрению стеновой панели:

$$R_m = r \left( \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_n} \right); \quad 6)$$

$$R_m = 0,8 \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,09}{2,04} + \frac{0,2}{0,05} + \frac{0,06}{2,04} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} \right) = 3,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

Нормативное сопротивление теплопередаче наружной стены здания, согласно [2, табл. 5.1] принимается равным  $R_{m \text{ норм}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ .

Таким образом, на основании выполненного теплотехнического расчета в соответствии с действующей нормативной базой для здания, принятого к рассмотрению, толщина эффективного слоя утепления стеновых панелей всех помещений будет одинаковой и равна 0,2 м.

Для определения величины расчетной наружной температуры  $t_n$  определим значение величины тепловой инерции принятой к рассмотрению стеновой панели согласно [1, п. 5.3] по формуле:

$$D = \sum R_i \cdot s_i = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + R_3 \cdot s_3 + R_4 \cdot s_4 + R_5 \cdot s_5 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot s_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \cdot s_5$$

$$D = \frac{0,02}{0,93} \cdot 11,09 + \frac{0,09}{2,04} \cdot 19,7 + \frac{0,2}{0,05} \cdot 0,48 + \frac{0,06}{2,04} \cdot 19,7 + \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 =$$

$$= 0,238 + 0,869 + 1,92 + 0,579 + 0,241 = 3,847 < 4$$

Применяем в расчетах в качестве температуры наружного воздуха среднюю температуру наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92  $t_{ext} = -28^\circ\text{C}$  для г. Минска.

Конструктивно покрытие над неотапливаемым подвалом (рис. 3) состоит из 4-х слоев.

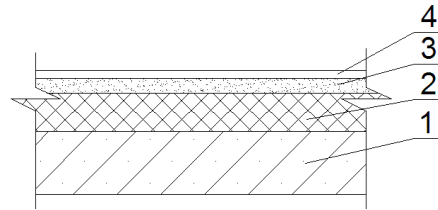


Рисунок 3. – Конструкция покрытия над неотапливаемым подвалом

1 – железобетонная плита

$$\delta_1 = 0,22\text{м}, \lambda_1 = 2,04\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_1 = 19,7\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

2 – слой утеплителя из плит пенополистирольных

$$\delta_2 = 0,1\text{м}, \lambda_2 = 0,05\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_2 = 0,48\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

3 – слой цементно-песчаного раствора

$$\delta_3 = 0,015\text{м}, \lambda_3 = 0,81\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_3 = 9,76\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

4 – слой линолеума многослойного

$$\delta_4 = 0,05\text{м}, \lambda_4 = 0,38\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_4 = 4,6\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Для конструкции покрытия над неотапливаемым подвалом сопротивление теплопередачи определяется по формуле (6):

$$R_m = 0,9 \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,05}{0,38} + \frac{1}{23} \right) = 2,2\text{м}^2\text{C} / \text{Вт}.$$

Конструктивно чердачное покрытие (рис. 4) состоит из 5-ти слоев.

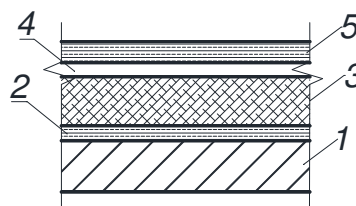


Рисунок 4. – Конструкция чердачного покрытия

1 – железобетонная плита

$$\delta_1 = 0,22\text{м}, \lambda_1 = 2,04\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_1 = 19,7\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

2 – слой рубероида

$$\delta_2 = 0,06\text{м}, \lambda_2 = 0,17\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_2 = 3,53\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

3 – слой утеплителя из плит пенополистирольных

$$\delta_3 = 0,25\text{м}, \lambda_3 = 0,05\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_3 = 0,48\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

4 – слой цементно-песчаной стяжки

$$\delta_4 = 0,7\text{м}, \lambda_4 = 0,93\text{Вт} / \text{м} \cdot ^\circ\text{C}, s_4 = 11,09\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

5 – слой рубероида (в 5 слоёв)  $\delta_5 = 0,3 \text{ м}$ ,  $\lambda_5 = 0,17 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $s_5 = 3,53 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

Для конструкции чердачного покрытия сопротивление теплопередачи определим по формуле (6):

$$R_m = 0,9 \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,06}{0,17} + \frac{0,2}{0,05} + \frac{0,7}{0,93} + \frac{0,3}{0,17} + \frac{1}{12} \right) = 6,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

Нормативное сопротивление теплопередаче чердачного покрытия здания, согласно [2, табл. 5.1] принимается равным  $R_{m \text{ норм}} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ .

Для зданий с системами водяного отопления при естественной вентиляции путём неорганизованного притока наружного воздуха за счёт инфильтрации его нагревание непосредственного в помещении от расчётной температуры наружного воздуха  $t_n$  до температуры внутреннего воздуха  $t_e$  осуществляется системой отопления.

Для систем воздушного отопления зданий совмещённого с активной вентиляцией, в строгом соответствии с тепловым и воздушным балансом, необходимо равенство приточного и удаляемого воздуха для каждого помещения в объёме нормативного воздухообмена и полной компенсацией сбалансированных теплотерь и тепlopоступлений, что обеспечивается за счёт перегрева централизованно обработанного приточного вентиляционного воздуха и подачи его в жилые помещения и кухню с температурой  $t_{np}$

$$t_{np} = t_e + \Delta t, \quad (8)$$

где  $\Delta t = \frac{Q_\Sigma}{0,28 \cdot \rho \cdot c \cdot L_{np}}$  – перегрев приточного воздуха для компенсации суммарных теплотерь и тепlopоступлений,  $^\circ\text{C}$ .

Перепишем выражение для  $\Delta t$  в развёрнутом виде с подстановкой нормативных значений входящих величин и после преобразований получим

$$\Delta t = \frac{Q_\Sigma}{0,28 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 3 \cdot F_n} = \frac{Q_\Sigma}{1,176 \cdot F_n}, \quad (9)$$

Разложив  $Q_\Sigma$  на составляющие, получим

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{Q_\Sigma}{1,176 \cdot F_n} = \frac{Q_{HC}}{1,176 \cdot F_n} + \frac{Q_{OK}}{1,176 \cdot F_n} + \frac{Q_{ПОЛ}}{1,176 \cdot F_n} + \frac{Q_{ПОКР}}{1,176 \cdot F_n} + \frac{Q_i}{1,176 \cdot F_n} - \frac{Q_o}{1,176 \cdot F_n} = \\ &= \frac{F_{HC} \cdot (t_e - t_n) \cdot (1 + \Sigma \beta) \cdot n}{1,176 \cdot R_{HC} \cdot F_n} + \frac{F_{OK} \cdot (t_e - t_n) \cdot (1 + \Sigma \beta) \cdot n}{1,176 \cdot R_{OK} \cdot F_n} + \frac{F_{ПОЛ} \cdot (t_e - t_n) \cdot n}{1,176 \cdot R_{ПОЛ} \cdot F_n} + \\ &\quad \frac{F_{ПОКР} \cdot (t_e - t_n) \cdot n}{1,176 \cdot R_{ПОКР} \cdot F_n} + \frac{0,28 \cdot \rho \cdot c \cdot 3 \cdot F_n \cdot K}{1,176 \cdot F_n} - \frac{9 \cdot F_n \cdot (1 - 0,2)}{1,176 \cdot F_n} = \\ &= \frac{F_{HC} \cdot (19 + 28) \cdot 1,15 \cdot 1}{1,176 \cdot 3,4 \cdot F_n} + \frac{F_{OK} \cdot (19 + 28) \cdot 1,15 \cdot 1}{1,176 \cdot 1 \cdot F_n} + \frac{F_{ПОЛ} \cdot (19 + 28) \cdot 0,6}{1,176 \cdot 2,2 \cdot F_n} + \\ &\quad + \frac{F_{ПОКР} \cdot (19 + 28) \cdot 1}{1,176 \cdot 6,5 \cdot F_n} + \frac{0,28 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 3 \cdot F_n \cdot 0,7}{1,176 \cdot F_n} - \frac{9 \cdot F_n \cdot (1 - 0,2)}{1,176 \cdot F_n} = \\ &= \frac{13,5 \cdot F_{HC}}{F_n} + \frac{46 \cdot F_{OK}}{F_n} + \frac{10,9 \cdot F_{ПОЛ}}{F_n} + \frac{6,1 \cdot F_{ПОКР}}{F_n} + 0,7 - 6,1 = \\ &= \frac{(13,5 \cdot F_{HC} + 46 \cdot F_{OK} + 10,9 \cdot F_{ПОЛ} + 6,1 \cdot F_{ПОКР})}{F_n} - 5,4^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (10)$$



Приняв за среднее значение  $t_e = \frac{18+20}{2} = 19^\circ\text{C}$  в соответствии с формулой (10) температура приточного воздуха для систем воздушного отопления здания определится из выражения

$$\begin{aligned} t_{np} &= 19 + \frac{13,5 \cdot F_{HC} + 46 \cdot F_{OK} + 10,9 \cdot F_{ПОЛ} + 6,1 \cdot F_{ПОКР}}{F_n} - 5,4 = \\ &= 13,6 + \frac{13,5 \cdot F_{HC} + 46 \cdot F_{OK} + 10,9 \cdot F_{ПОЛ} + 6,1 \cdot F_{ПОКР}}{F_n}. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, для любого здания по конструктивным размерам можно быстро и легко по формуле (11) определить температуру  $t_{np}$  приточного воздуха и суммарный расход теплоты на отопление и вентиляцию здания при воздушном отоплении по формуле

$$Q_{в.о.} = 0,28 \cdot L_{np} \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_{np} - t_n) \text{ Вт.} \quad (12)$$

Исследования в области создания энергоэффективных систем воздушного отопления в зданиях с наружными ограждающими конструкциями повышенной теплозащиты и герметичности свидетельствуют о том, что формированию комфортных параметров микроклимата в помещениях наиболее полно удовлетворяют системы воздушного отопления, совмещённые с активной вентиляцией [4].

Построение вышеизложенной методики расчёта температуры приточного воздуха  $t_{np}$  (11) и суммарного расхода тепловой энергии  $Q_{в.о.}$  (12) для систем воздушного отопления, совмещённого с активной вентиляцией, базируется на основных положениях теории аэродинамики и тепломассообмена и воздухообменов по нормативным параметрам и осреднением в пределах допустимых погрешностей.

Для систем воздушного отопления, совмещённых с активной вентиляцией, при которой в каждое вентилируемое помещение поступает тёплый воздух из единого приточного центра с одинаковой температурой  $t_{np}$  и в количестве, соответствующем нормативному воздухообмену с одновременной компенсацией всех теплопотерь без дополнительной установки кондиционеров-доводчиков очень важным является разработка неоднородной системы утепления наружных стен каждого отапливаемого помещения с различной толщиной эффективного слоя утеплителя с целью выравнивания удельных теплопотерь, что ложится в основу дальнейших научных исследований для минимизации энергопотребления от внешних источников за счёт более широкого использования вторичных и природных энергоресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление вентиляция и кондиционирование воздуха : СНБ 4.02.01-03. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2003.
2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2007. – 32 с.
3. Жилые здания : СНБ 3.02.04-03. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2003.
4. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий : в 2 т. / В.И. Липко. – Т. 1. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – 300 с.
5. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий : в 2 т. / В.И. Липко. – Т. 2. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – 246 с.

6. Липко, В.И. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий : в 2 т. Т.1, Т.2 – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2004.
7. Технологический чердак здания : пат. 9618и Респ. Беларусь : МПК (2006.01) E04H1/02 / В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, С.В. Липко, С.В. Ланкович ; дата публ.: 30.10.2013. /
8. Рекуперативное устройство приточно-вытяжной вентиляции здания : пат. № 8381 Респ. Беларусь : МПК F24D7/00 / В.И. Липко, С.В. Липко ; дата публ.: 04.03.2012.
9. Здание с утепляющей оболочкой : пат. 008576 В1 Евр. пат. ведомство : МПК E04B1/76 (2006.01), E04H (2006.01) / Л.Н. Данилевский, В.М. Пилипенко, В.А. Потерщук / дата публ. 09.06.2007.
10. Отопительно-вентиляционная система здания : пат. 1134 Респ. Беларусь : МПК (2003) F24D7/00 / В.И. Липко, В.А. Борванов ; дата публ.: 01.08.2003.
11. Ланкович, С.В. Энергоресурсоэффективное устройство тепловой вентиляции здания с технологическим чердаком с использованием вторичных и природных энергоисточников / С.В. Ланкович, В.И. Липко // Устойчивое развитие: региональные аспекты : Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных, Брест, 20-21 апр. 2017 г. – Брест, 2017.
12. Широкова, О.Н. Экологически и экономически эффективные системы тепловоздухоснабжения индивидуально отапливаемых и активно вентилируемых малоэтажных зданий / О.Н. Широкова, В.И. Липко / Материалы докладов 50-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки : в 2 т. – 2017. – С. 319–322.
13. Липко, В.И. Энергоресурсоэффективные системы тепловоздухоснабжения жилых зданий повышенной теплозащиты / В.И. Липко, О.Н. Широкова, А.С. Лапезо // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф. / Витеб. гос. технол. ун-т. – 2015. – С. 285–287.
14. Липко, В.И. Теория исследования работы рекуперативных приточных вентиляционных элементов в инновационной технологии поддержания микроклимата герметизированных зданий / В.И. Липко, Н.В. Кундро // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. –Т. 1. – № 1. – С. 230–238.